



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

VÍCEPRVKOVÉ NÁPRAVY OSOBNÍCH VOZIDEL PASSENGER CAR MULTI-LINK SUSPENSIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN KRÁL

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PETR HEJTMÁNEK

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Král

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Víceprvkové nápravy osobních vozidel

v anglickém jazyce:

Passenger Car Multi-Link Suspensions

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracování přehledu víceprvkových náprav užívaných v konstrukci osobních automobilů, pozornost věnujte zejména moderním trendům v oblasti konstrukce víceprvkového zavěšení kol.

Cíle bakalářské práce:

- Vypracujte analýzu kinematiky a dynamiky víceprvkového zavěšení kol.
- Definujte jednotlivé parametry geometrie kol na nápravě.
- Vytvořte detailní popis jednotlivých variant víceprvkových náprav.
- Srovnajte víceprvkovou nápravu s ostatními typy zavěšení kol.
- Shrňte moderní trendy a vývoj v oblasti víceprvkových náprav.

Seznam odborné literatury:

- [1] VLK, F. Podvozky motorových vozidel. ISBN 80-239-6464-X, Nakladatelství VLK, Brno 2006.
- [2] REIMPELL, J.; STOLL, H.; BETZLER, J. The Automotive Chassis: Engineering Principles. [s.l.]: SAE International, 2001. 444 s. ISBN 0768006570.
- [3] VLK, F. Diagnostika motorových vozidel. ISBN 80-239-7064-X, Nakladatelství VLK, Brno 2006.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Hejtmánek

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 16.11.2010

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan



ABSTRAKT

Práce obsahuje přehled vybraných konstrukčních řešení víceprvkových náprav používaných u současných osobních automobilů. Jednotlivá konstrukční řešení jsou dále popsána. Dále je uveden přehled dalších dnes používaných typů nezávislého zavěšení a je provedeno jejich porovnání s víceprvkovým zavěšením.

KLÍČOVÁ SLOVA

Víceprvková náprava, zavěšení, nezávislé zavěšení

ABSTRACT

This work includes summary of choice structural multi-link axles used by contemporary cars. Individual solutions structural design are further described. Further come out survey of other today used types independent suspension and is effected their compare with multi-link suspension.

KEYWORDS

Multi-link axle, suspension, independent suspension



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Král, M. Víceprvkové nápravy osobních vozidel. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 40 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Hejtmánek.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petr Hejtmánek a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2012

.....

Martin Král



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Petru Hejtmánkovi za jeho pomoc a odborné rady při vypracování bakalářské práce.



OBSAH

Úvod	10
1 Zavěšení.....	11
1.1 Úkol zavěšení.....	11
1.2 Geometrie zavěšení.....	12
1.2.1 Úhel odklonu kola	12
1.2.2 Příklon rejdové osy.....	13
1.2.3 Poloměr rejdu	14
1.2.4 Záklon rejdové osy a závlek	14
1.2.5 Úhel sbíhavosti	15
2 Víceprvkové nápravy.....	16
2.1 Konstrukční řešení víceprvkových náprav	18
2.1.1 Přední a zadní náprava Audi A4 quattro	18
2.1.2 Zadní náprava Ford Focus MkII.....	21
2.1.3 Zadní náprava Mercedes Benz třídy E	22
2.1.4 Zadní nápravy Porsche	22
2.1.5 Zadní náprava Mitsubishi Lancer Evolution X	24
2.1.6 Zadní náprava Mini Cooper S	24
2.1.7 Zadní náprava BMW 5	25
2.1.8 Zadní náprava Lexux LFA	25
2.1.9 Nissan multi-link s mechanismem Scott-Russel	26
2.2 Vývoj	27
2.2.1 Historie	27
2.2.2 Současnost	28
3 Další typy nezávislého zavěšení	32
3.1 Lichoběžníková náprava	32
3.2 Náprava MacPherson	33
3.3 Kliková náprava	34
3.4 Spřažená kliková náprava	34
3.5 Kyvadlová náprava	35
3.6 Náprava De Dion	36
Závěr.....	37
Seznam použitých zkratk a symbolů	40



Úvod

Zavěšení kol automobilu je nedílnou součástí jeho konstrukce. Pohlcuje nerovnosti, čímž se velkou měrou podílí na komfortu jízdy a jeho správné nastavení je nezbytné pro životnost pneumatik a pro jízdní stabilitu. Proto se inženýři pustili do vývoje zavěšení prakticky hned, když měli zvládnutou technologii spalovacího motoru. Se zvyšujícím se výkonem automobilů a změnou tvaru pneumatik bylo nutné zajistit správnou přilnavost kola i při propružení a náklonu karoserie při průjezdem zatáčkami. Špatně nastavené zavěšení může vést k nadměrnému opotřebení pneumatik nebo v extrémním případě ke ztrátě kontroly nad vozem.

V první kapitole jsou vysvětleny některé prvky geometrie zavěšení, které mají významný vliv na jízdní vlastnosti automobilu

V další kapitole je uveden rozbor vybraných víceprvkových náprav používaných u dnešních automobilů. Také je zde uveden směr jakým se ubírá vývoj víceprvkových náprav.

V poslední kapitole je potom uveden přehled ostatních dnes používaných typů nezávislého zavěšení kol. Také je tam uvedena náprava De Dion, která sice patří mezi tuhé nápravy, ale používá prvky nezávislého zavěšení.



1 ZAVĚŠENÍ

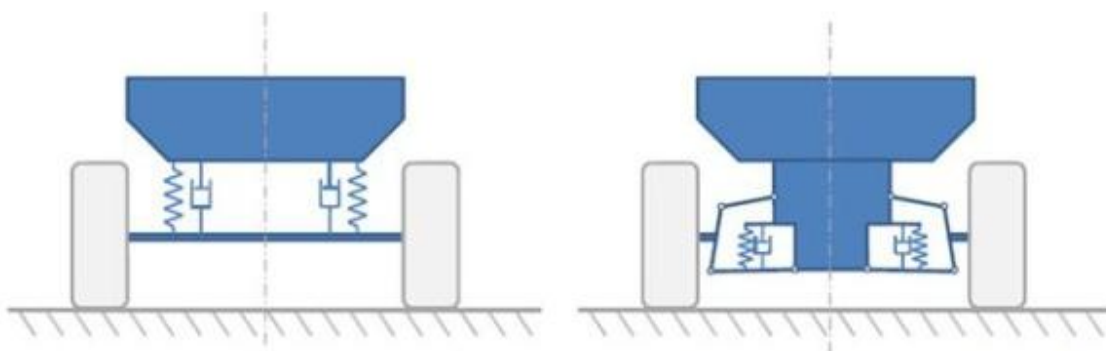
1.1 ÚKOL ZAVĚŠENÍ

Zavěšení kol je konstrukce, zajišťující uchycení kola (těhlice na které je kolo připevněno) ke karoserii automobilu či pomocnému rámu. Pojem "náprava", který se často používá, není přesný, neboť zavěšení je jen jedním z více funkčních celků, z nichž se náprava skládá. Zavěšení umožňuje [1]:

- Svislý relativní pohyb vůči automobilu
 - důležitý pro propuštění
- Vedení kola
 - má za úkol minimalizovat nežádoucí pohyby, především boční posuv a naklápění kola.
- Přenos sil a momentů mezi kolem a karoserií:
 - svislé síly od zatížení vozidla
 - podélné síly hnací a brzdě
 - příčné (odstředivé) síly způsobené zatáčením
 - momenty podélných sil.

Zavěšení kol dělíme dle typu konstrukce [1]:

- Závislé zavěšení
 - tzv. tuhá náprava. Kola jsou uložena na společném příčném nosníku, tudíž se jejich vzájemná poloha nemění. Propuštění jednoho kola ovlivní i to druhé.
- Nezávislé zavěšení.
 - Každé kolo je ke karoserii zavěšeno zvlášť, tudíž propuštění jednoho kola neovlivní polohu protilehlého kola.



Obr. 1 Schéma zavěšení Závislé (vlevo) a Nezávislé (vpravo) [4]



V současnosti se používají zejména tyto druhy nezávislého zavěšení kol:

Přední náprava:

- náprava MacPherson (teleskopická vzpěra a spodní trojúhelníkové rameno)
- lichoběžníková náprava (dvojice příčných trojúhelníkových ramen)

Zadní náprava:

- kyvadlová úhlová náprava (trojúhelníková ramena se šikmou osou kývání)
- kliková náprava (podélná ramena s příčnou osou kývání)
- torzní kliková náprava (spřažená náprava)
- De Dion (kombinace kyvadlové a tuhé nápravy)

Přední a zadní náprava:

- víceprvková (kolo je zavěšeno na více ramenech) [4]

1.2 GEOMETRIE ZAVĚŠENÍ

Geometrií kol nazýváme jisté geometrické odchylky od svislé roviny. Tyto odchylky zajišťují, aby se kola při přímé jízdě a při zatáčení odvalovala a řízení bylo lehké, přesné a stabilní. Ovšem při propnutí kola dochází, vzhledem ke konstrukci zavěšení, ke změně některých parametrů geometrie. Tyto změny pak působí negativně na ovladatelnost vozu. Proto nastavení těchto parametrů je výsledkem kompromisu, kdy se konstruktéři snaží o vyrovnanou stabilitu a ovladatelnost jak při přímé jízdě tak při průjezdu zatáčkou. Velkou roli také hraje rozpětí hmotnosti automobilu, kdy se u rodinných vozů předpokládá velký rozdíl mezi vozem prázdným a plně obsazeným a kvůli zachování komfortu jízdy zde dochází k většímu propnutí. Na druhé straně jsou vozy sportovní, kde není předpoklad velkého váhového zatížení.

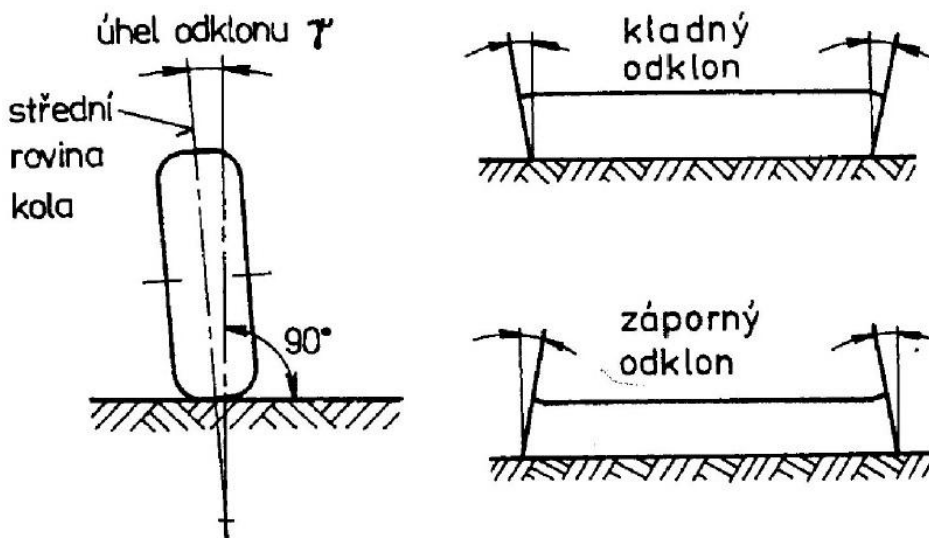
Mezi prvky geometrie kol mimo jiné patří:

- Úhel odklonu kola - γ
- Příklon rejdové osy - σ
- Poloměr rejdu - r
- Záklon rejdové osy - τ
- Závlek - n_k
- Úhel sbíhavosti - δ

1.2.1 ÚHEL ODKLONU KOLA

Úhel odklonu kola je sklon střední roviny kola vůči svislé ose kola. Kladný odklon je uvažován, když se kolo vrchem naklápí od vozidla a záporný, jestliže se naklání do vozidla. U předních kol se v poslední době volí odklon nulový (v zatíženém stavu záporný -1° až -2°),

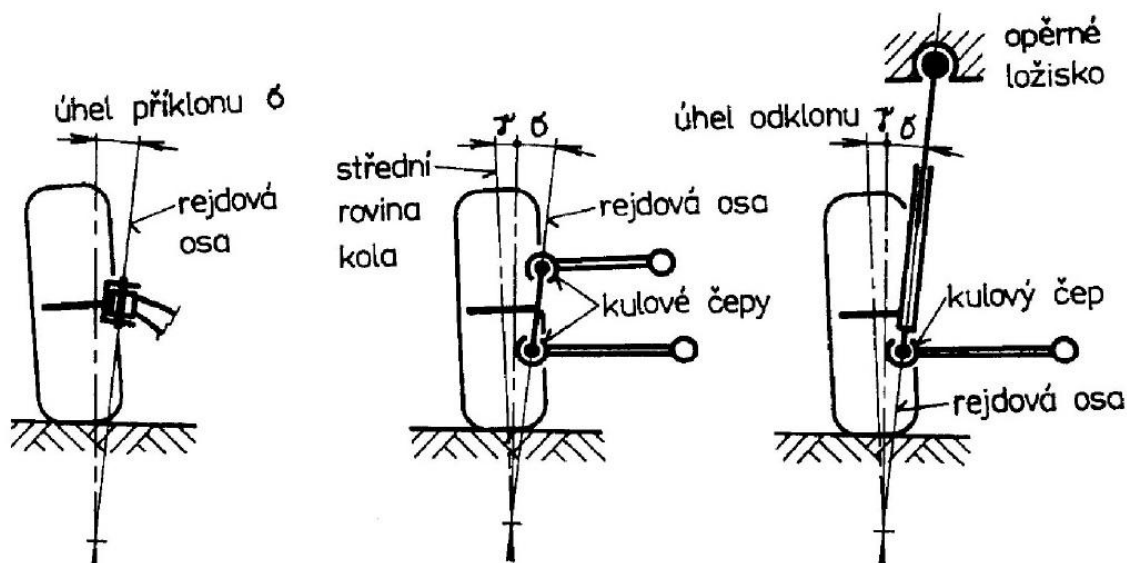
aby v zatáčkách při vyšších rychlostech vnější kolo vyrovnávalo naklopení karoserie a zůstalo prakticky kolmo k vozovce a dokázalo tak nejlépe přenášet výkon motoru na vozovku a udržovat zvolenou jízdní stopu. Odklon ovšem vytváří dodatečnou boční sílu, která může ovlivňovat řízení vozidla.[1]



Obr. 2 Úhel odklonu kola [1]

1.2.2 PŘÍKLON REJDOVÉ OSY

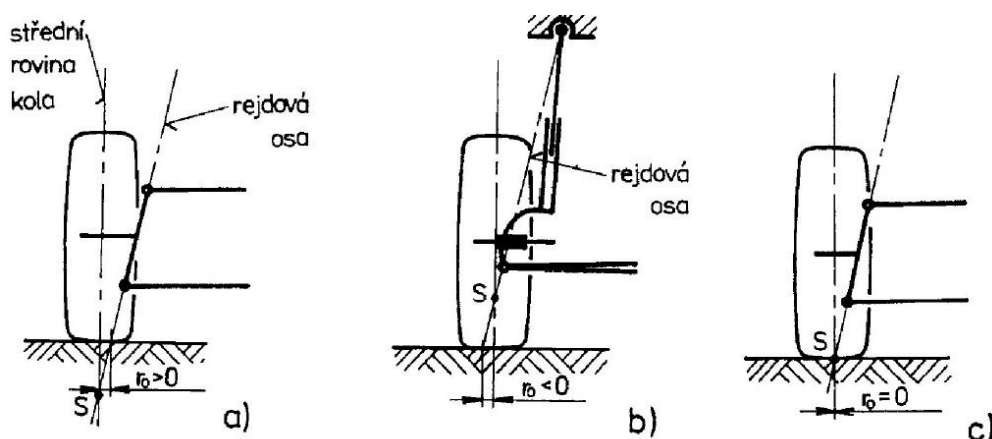
Jedná se o průmět úhlu sevřeného rejdovou osou a svislicí do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla. Příklon rejdové osy zajišťuje navrácení kol do přímého směru. Vlivem příklonu totiž dochází při natočení kol k jejich zvedání a po uvolnění volantu, tlačí zatížení přední nápravy přední kola zpět do přímé polohy. [1]



Obr. 3 Příklon rejdové osy: a) tuhá náprava, b) lichoběžníková náprava, c) náprava MacPherson [1]

1.2.3 POLOMĚR REJDU

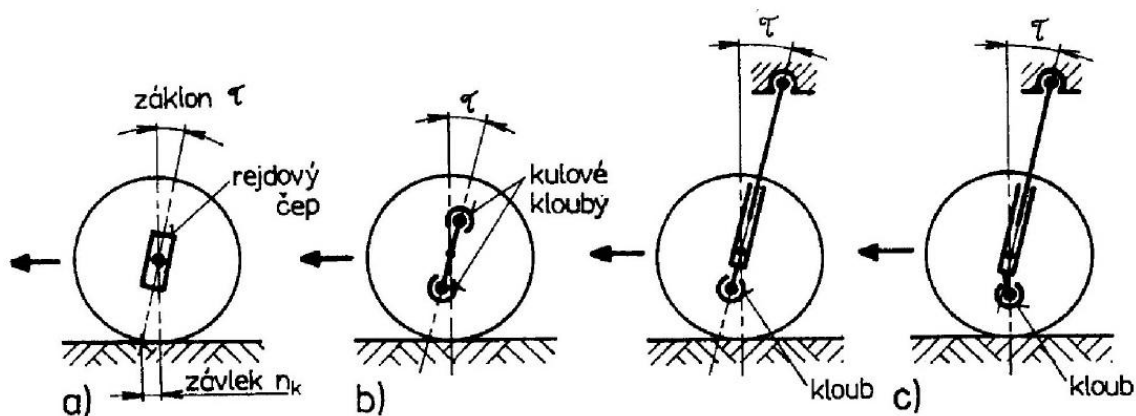
Poloměr rejdů je vzdálenost od středu styku kola s vozovkou k průsečíku rejdové osy s rovinou vozovky. Poloměr rejdů je záporný, pokud leží vně střední roviny kola. Díky nenulovému poloměru rejdů vytvářejí podélné síly od vozovky momenty, např. při brzdění nebo vlivem valivých odporů apod. S rostoucím poloměrem rejdů rostou i tyto momenty a náprava je na ně citlivější. V posledních letech se stále častěji používá záporný poloměr rejdů, který má stabilizační účinek na řízení. Kola jsou nucena do sbíhavosti a všechny případné vůle v uložení kola a spojovacích tyčí jsou stále vymezovány. [1]



Obr. 4 Poloměr rejdů: a) kladný, b) záporný, c) nulový [1]

1.2.4 ZÁKLON REJDOVÉ OSY A ZÁVLEK

Záklon rejdové osy je průmět úhlu mezi svislicí kola a rejdovou osou do roviny rovnoběžné s podélnou rovinou. Záklon je uvažován kladně, pokud je rejdová osa směrem vzhůru zakloněna. A naopak, je-li osa předkloněna, hovoříme o předklonu. Záklon rejdového čepu má na řízení stabilizační účinek a navrácí kola do přímé polohy. Záklon také při natočení kol ovlivňuje hodnotu odklonu. Příliš velká hodnota záklonu ale způsobuje, spolu se zvýšením stabilizace kol, také zvýšení potřebné síly na volant (do řízení) a způsobuje přílišnou změnu odklonu kola při natočení volantu. [5]



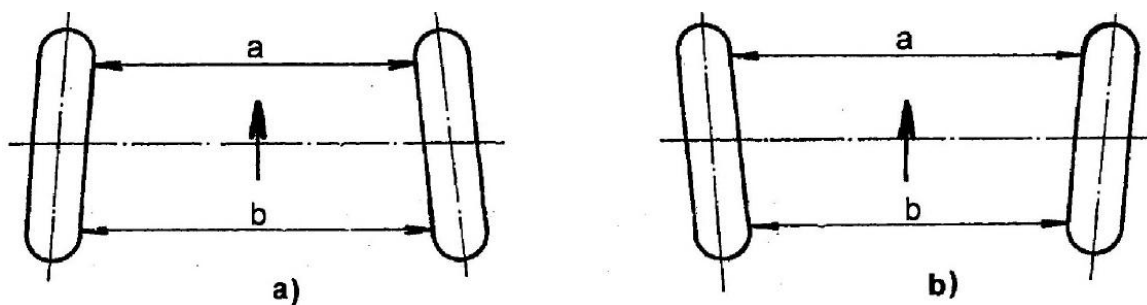
Obr. 5 Záklon rejdové osy a závlek: a) tuhá náprava, b) lichoběžníková náprava, c) náprava MacPherson [1]



Závlek je vzdálenost mezi středem styku pneumatiky s vozovkou a průsečíkem rejdové osy s rovinou vozovky, promítnutá do roviny rovnoběžné s podélnou rovinou vozidla. Závlek je kladný, je-li průsečík rejdové osy a roviny vozovky před středem styku pneumatiky s vozovkou. Kolo je vlivem závleku vlečeno, což pomáhá vracet kola do přímého směru. Je to ten samý princip jako u nákupního košíku. [1]

1.2.5 ÚHEL SBÍHAVOSTI

Sbíhavost kol je průmět úhlu mezi podélnou osou vozidla a střední rovinou kola do roviny vozovky. O sbíhavosti hovoříme, pokud je přední část kola přikloněna k podélné ose vozidla. A naopak, jestliže je od ní odkloněna, hoříme se o rozbíhavost. Vlivem valivého odporu a poddajnosti řízení mají kola tendenci k rozbíhavosti. Pro zajištění přímého směru odvalování slouží sbíhavost. [6]

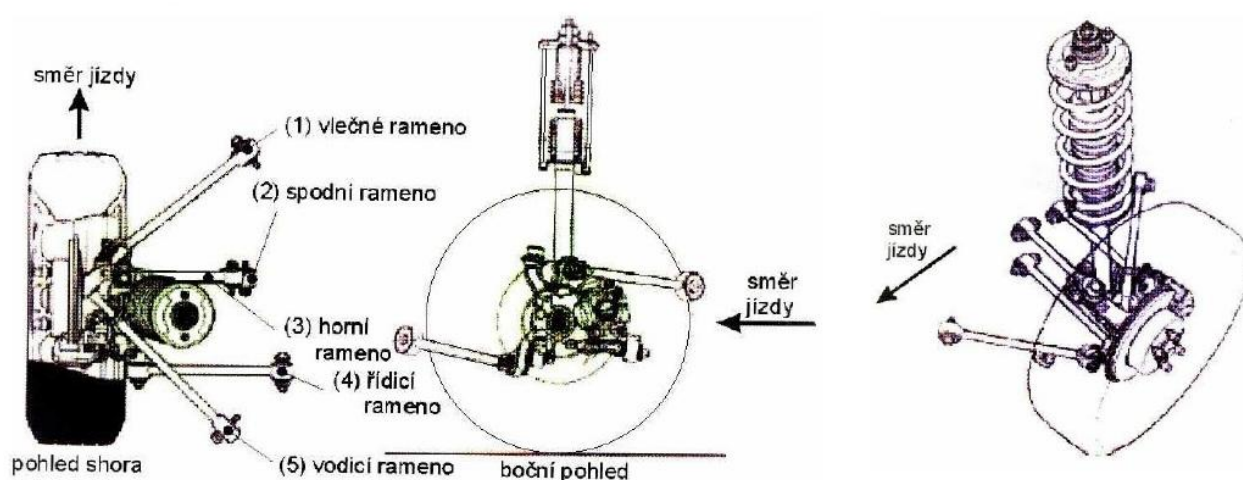


Obr. 6 Úhel sbíhavosti: a) sbíhavost, b) rozbíhavost [1]

U vozidel s předním náhonem mají hnací síly tendenci stlačovat kola do sbíhavosti, proto by u nich byla vhodnější rozbíhavost. Ale kvůli nezhoršení jízdních vlastností při brzdění motorem (nepůsobí hnací síly) se volí malý úhel sbíhavosti. [1]

2 VÍCEPRVKOVÉ NÁPRAVY

Víceprvkové zavěšení je výsledkem práce konstruktérů, kteří se snažili docílit maximální kontroly odklonu a sbíhavosti kol v celé délce propružení kola. Čím více prvků zavěšení obsahuje, tím lépe je možné kontrolovat jeho chování během propružení. O víceprvkovém zavěšení hovoříme, je-li tvořeno minimálně třemi prvky, maximálně však pěti. Pětivrvkové zavěšení pak umožňuje přesné vedení kola, jež je využíváno ovšem pouze vozy vyšších tříd a vozy sportovními. Víceprvkové zavěšení nám teda dovoluje dosáhnout lepších jízdních vlastností při zachování dobrého komfortu jízdy, jelikož nám umožňuje zabránit, aby se kolo dostalo do nepříznivé polohy vůči vozovce i při využití většího propružení. Toto zavěšení má ovšem své nevýhody, mezi něž patří hlavně velká prostorová náročnost tohoto typu zavěšení a samozřejmě cena, která vychází z konstrukční náročnosti. Díky velkému počtu ramen a kloubů je zde i předpoklad vyšších servisních nákladů.

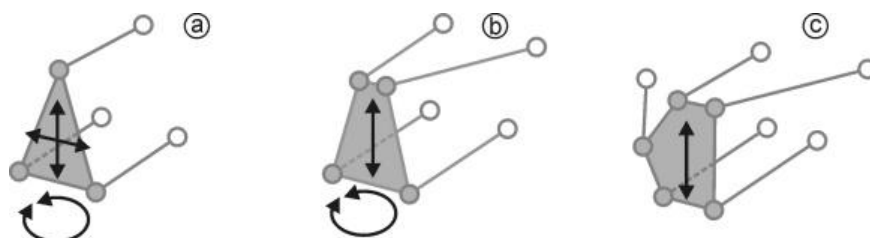


Obr. 7 Víceprvková náprava Honda Accord [2]

Díky vzájemné nezávislosti uchycení ramen lze jejich počtem a vzájemnou polohou:

- optimálně nastavit požadované kinematické vlastnosti
- řešit požadavky na dynamiku jízdy, jízdní komfort a zastavěný prostor
- přesněji vést kola s minimální změnou geometrie
- zvýšit stabilitu

Na následujícím obrázku je vidět, jak počet ramen ovlivňuje kinematiku (přesnost vedení kola) zavěšení. S rostoucím počtem ramen klesá možnost pohybu kola. Cílem je dosáhnout stavu kdy se kolo může pohybovat jen ve svislém směru.



Obr. 8 Vliv počtu ramen na kinematiku zavěšení [7]



První víceprvková zavěšení vycházela z lichoběžníkových náprav, kdy došlo k rozdělení trojúhelníkových ramen na tyče, kde každá má své lože jak na rámu tak na těhlici. Tím bylo docíleno možnosti lepší kontroly nad změnami parametrů geometrie kola. Dále se ovšem vývoj ubíral různými směry a dnes víceprvkové zavěšení nemá jasně definovanou konstrukci, ale každá automobilka má vlastní osvědčenou konstrukci a může se lišit i v rámci automobilky mezi různými modely.

Kvůli své prostorové náročnosti, kdy ramena mají úchyty daleko od sebe (ve srovnání s jinými druhy zavěšení) a důrazu kladeného na tuhost se prvky zavěšení nemontují přímo ke karoserii vozidla, ale je používáno pomocných rámu či nápravnic, které také usnadňují následnou montáž do vozidla. Prostorovou náročnost celé nápravy ukazuje následující obrázek zachycující nápravu vozu Porsche Cayenne.



Obr. 9 Zadní náprava Porsche Cayenne [7]

Ramena bývají vyrobená z hliníku nebo oceli, přičemž ocelová ramena jsou především tyče s kruhovým průřezem nebo se jedná o plechy. Je žádoucí, aby ramena byla namáhána pouze na tah nebo tlak (neplatí vždy viz. kapitola 2.2.2) a proto jsou na koncích opatřeny točným uložením nebo kulovým čepem. K dobré stabilitě je zapotřebí vysoké tuhosti zavěšení v příčném směru, naopak mírná poddajnost v podélném směru zlepšuje jízdní komfort. [1]

Jak již bylo zmíněno výše, díky velkému počtu prvků tohoto typu zavěšení, je jeho konstrukce, díky prakticky neomezenému počtu variant uspořádání a velikosti prvků, velice náročná a na návrh konstrukce a její následnou kontrolu bývá využito analytického softwaru.



2.1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VÍCEPRVKOVÝCH NÁPRAV

2.1.1 PŘEDNÍ A ZADNÍ NÁPRAVA AUDI A4 QUATTRO

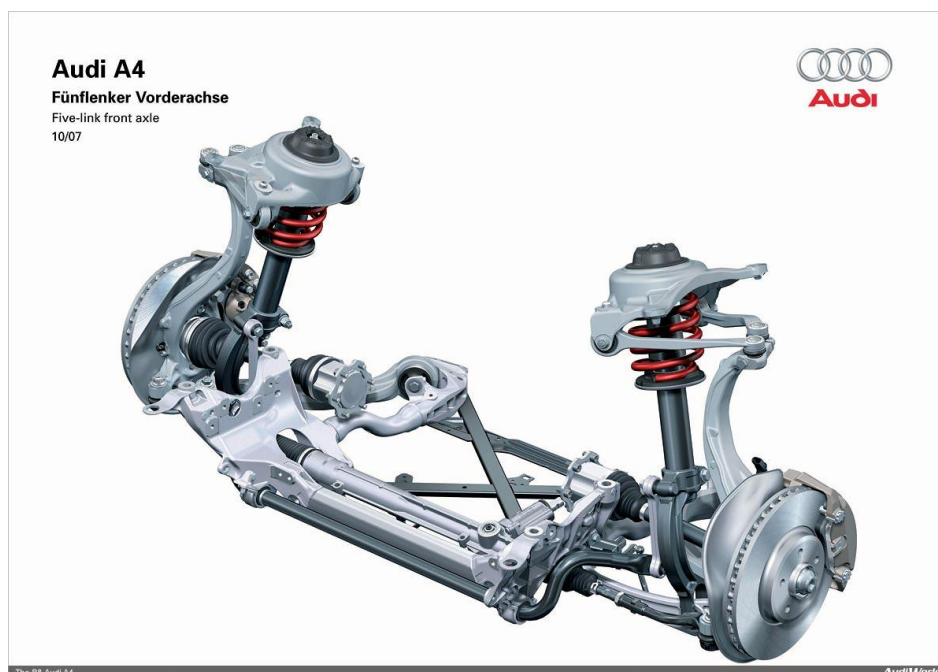
Automobilka Audi využívá u některých svých automobilů víceprvkového zavěšení na obou nápravách. Tyto zavěšení se lehce liší model od modelu, ale základní struktura je stejná. Pro popis těchto zavěšení jsem vybral Audi A4 quattro, model 2007.



Obr. 10 Audi A4 quattro [8]

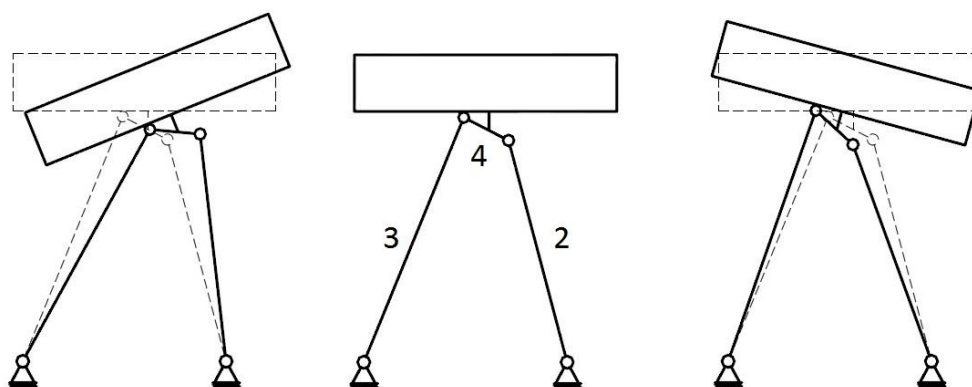
Přední zavěšení se může na první pohled jevit jako lichoběžníkové, ale kolo je uchyceno čtyřmi tyčovými rameny (dvě spodní a dvě horní), jedná se tedy o čtyřprvkové zavěšení. Některé zdroje uvádějí, že se jedná o zavěšení pětivrčkové, protože připočítávají ještě tyč řízení. Jednotka odpružení s pružinou a tlumičem je uchycena k jednomu ze spodních ramen. Díky konstrukci s oddělenými vodícími a pružícími prvky dovoluje optimalizovat kinematiku zavěšení, která tak dokáže zaručit dobré jízdní vlastnosti.[1], [9]

Celé přední zavěšení (kromě jednotky odpružení) je vyrobeno z hliníku, aby bylo dosaženo co nejnižší neodpružené váhy. Této konstrukce předního zavěšení je využito u Škody Superb první generace.



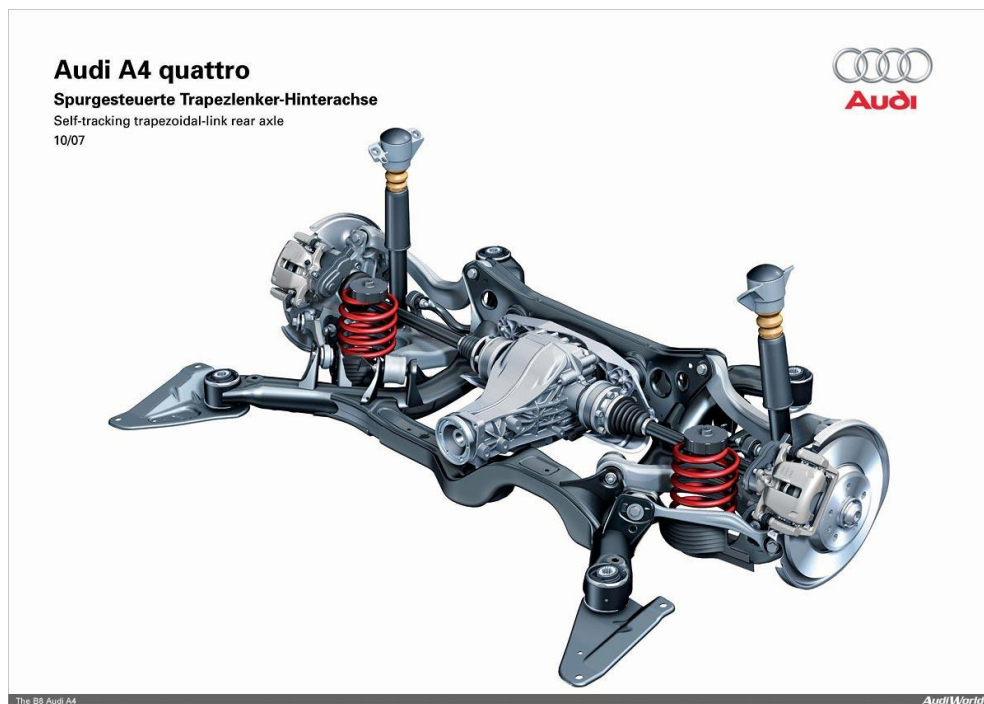
Obr. 11 Přední náprava Audi A4 quattro [8]

Jelikož se jedná o čtyřprvkové zavěšení je těhlice přichycena na čtyřech místech, což ovšem komplikuje kinematiku řízení. Konstrukce loží ramen zavěšení umožňuje jejich určitý relativní pohyb v podélné rovině. Kulové čepy, jež zajišťují připojení ramen k těhlici pak zaručují možnost natáčení i při propnutí. Samotná tyč řízení je pak přichycena k těhlici. Schéma natáčení je zobrazeno na Obr. 12. Je vidět, že při řízení koná i těhlice určitý podélný pohyb, proto musí být uložení tyče řízení dostatečně tuhé, aby nedocházelo vlivem sil od vozovky k natáčení kol.



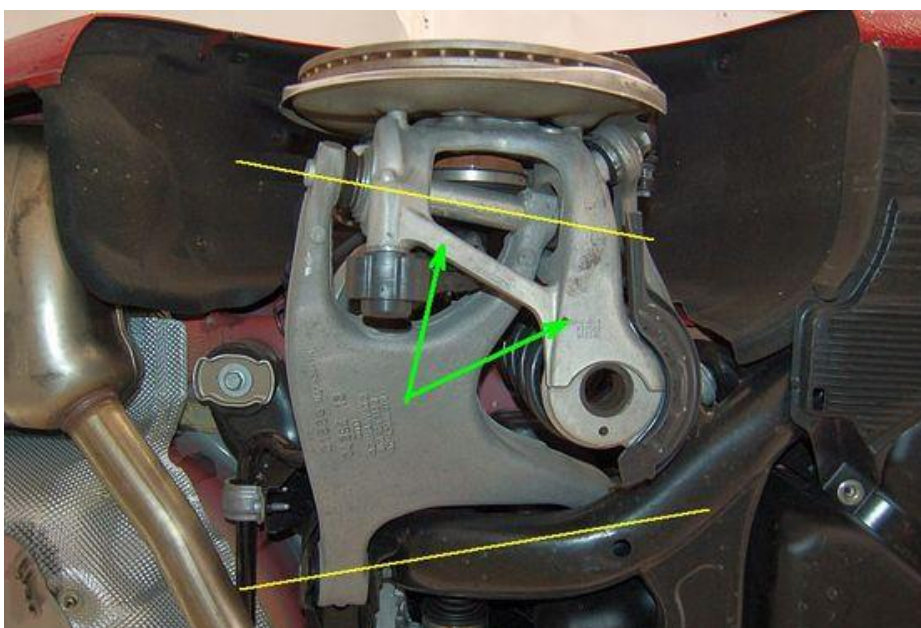
Obr. 12 Kinematické znázornění natáčení řízeného kola
2, 3 - ramena zavěšení; 4 - těhlice s kolem

Zadní zavěšení nemá zrovna obvyklý tvar jaký se očekávat u víceprvkového zavěšení. Audi toto zavěšení nazývá "trapezoidal-link" suspension, tedy zavěšení s lichoběžníkovým prvkem. Jedná se o tříprvkové zavěšení s horním příčným ramenem, jedním šikmo uloženým ramenem a právě lichoběžníkovým prvkem.



Obr. 13 Zadní náprava Audi A4 quattro[8]

I u zadního zavěšení jsou prvky vyrobeny z hliníku avšak zde je horní a lichoběžníkové rameno duté, což snižuje hmotnost. Tlumič a vinutá pružina je poměrně nezvykle uchycena přímo na těhlici. Na Obr. 14 je vidět lichoběžníkové rameno, uchycené na těhlici ve dvou bodech, a žlutě vyznačené jeho osy kývání, které jsou vzájemně různoběžné (odtud je odvozen název ramene). Tato konstrukce má výhodu v tom, že spodní rameno dokáže zachytit hnací a brzdné momenty. Zeleně je vyznačena těhlice a její netradiční tvar a je vidět uložení pružiny a tlumiče. Toto netradiční jakoby propletení těhlice se spodním ramenem dle mého názoru nevyžaduje tolik místa jako standardní řešení pomocí tyčových ramen. Také je vidět, že pružina spolu s kolem tvoří silovou dvojici, kterou musí horní příčné rameno zachytit, což je důvodem jeho robustnější konstrukce. [9]



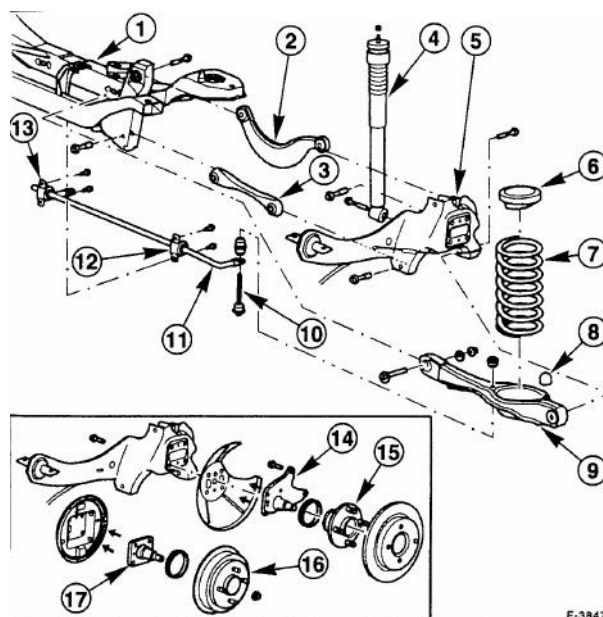
Obr. 14 Zadní náprava Audi S5 [9]



2.1.2 ZADNÍ NÁPRAVA FORD FOCUS MkII

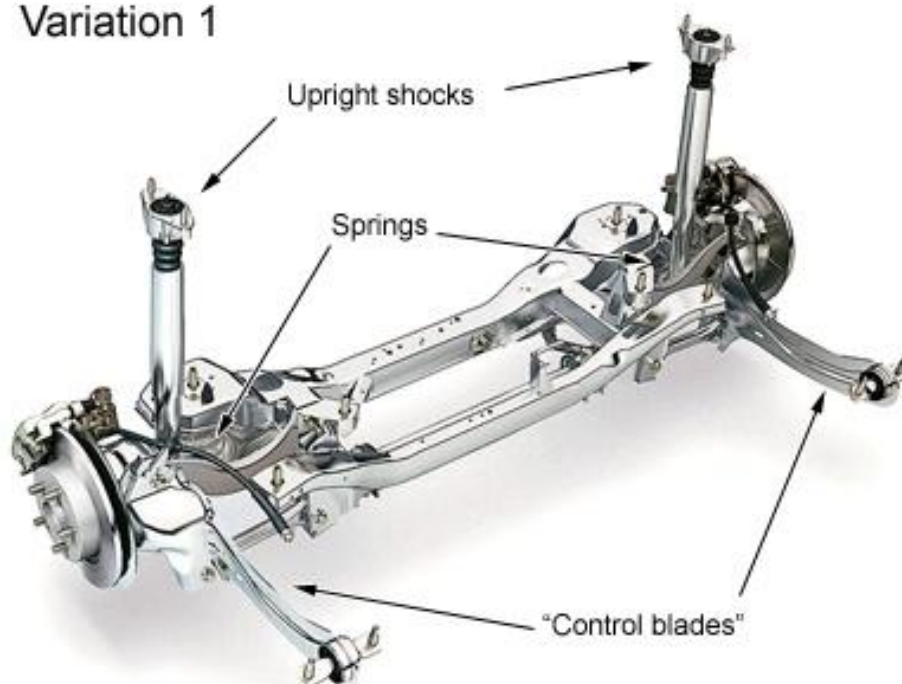
Zadní náprava vozu Ford Focus vychází z klikového typu zavěšení. Ford toto zavěšení nazývá "Control Blade suspension". Základem je vlečené klikové rameno (5) k němuž je pevně přichycena těhlice. Ford toto rameno nazývá "Control Blade" a od něho je i odvozen název zavěšení. Toto rameno zajišťuje podélné vedení kola, ale je poddajné v příčném směru a umožňuje tak změnu geometrie při propružení, především pak sbíhavost a odklon. K zachycení příčných sil slouží tři příčná ramena. Jedno horní (2), přední spodní (3) a zadní spodní (9), na němž je umístěná vinutá pružina (7). Tlumič (4) je připevněn přímo ta těhlici.

Podobného řešení využívá od roku 2004 i koncern VW například u VW Golf, Škoda Octavia či Seat Toledo.



Obr. 15 Zadní náprava Ford Focus [10]

Variation 1

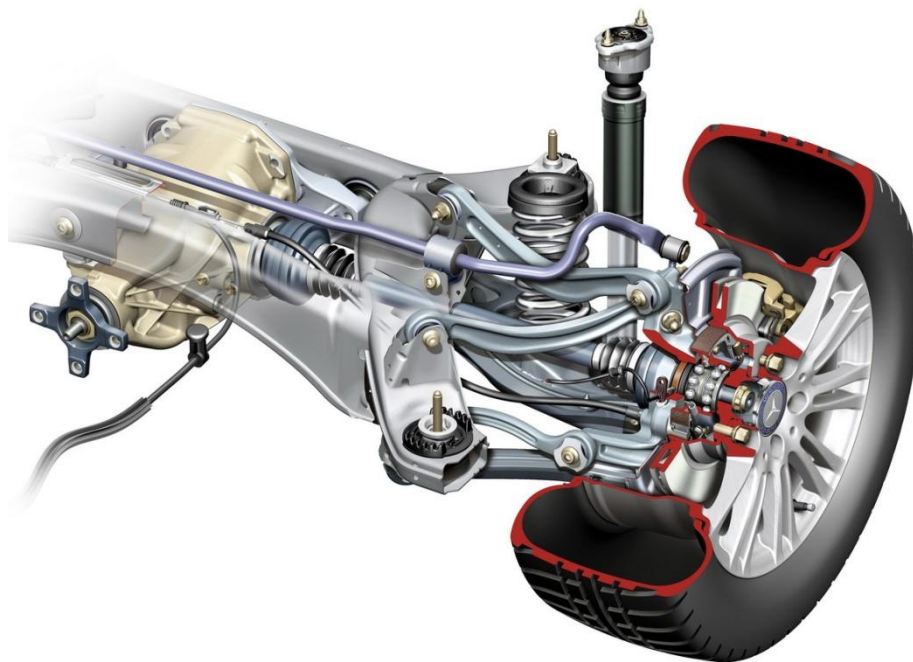


Obr. 16 Zadní náprava Ford Focus [11]



2.1.3 ZADNÍ NÁPRAVA MERCEDEZ BENZ TŘÍDY E

Víceprvková náprava Mercedes Benz pro nové kupé třídy E (model 2009) byla upravena s cílem splnit přísnější požadavky na komfort a stabilitu. V souladu s koncepcí odlehčené konstrukce je zavěšení z velké části vyrobeno z hliníku a pomocný rám je zhotoven z vysokopevnostní oceli. [12]



Obr. 17 Zadní náprava Mercedes Benz E 2009 [12]

Jedná se o pětiprvkové zavěšení, u kterého stojí za zmínku zejména vzájemná poloha horních ramen. Křížením těchto ramen je docíleno lepšího podélného vedení a také ramena mohou delší a lze tak docílit lepšího vedení a kontroly během propružení. Také je toto řešení méně náročné na místo a je tak snazší zástavba.

2.1.4 ZADNÍ NÁPRAVY PORSCHE

Porsche používá víceprvkové zavěšení na zadní nápravě u všech svých vozů. U této značky porovnáme zadní nápravu u dvou vozů a to Panamera s 911 turbo.

PORSCHE PANAMERA

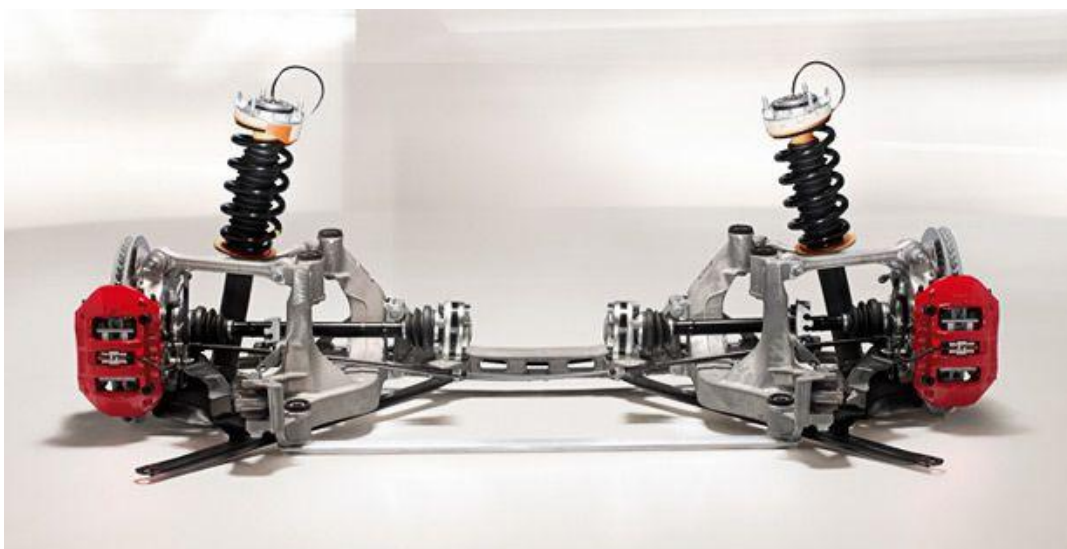
Panamera je čtyřdveřová limuzína určená především vysoce postaveným manažerům a zadní náprava je proto stavěna s ohledem na větší komfort. Je použito čtyřprvkového řešení, kdy jsou použita tři příčná ramena, přičemž jedno kontroluje sbíhavost kol. Dále je použito spodní trojúhelníkové rameno, které brání podélnému posuvu kola. Tlumící a pružící jednotky jsou uloženy zvlášť, přičemž odpružení je laděno na vyšší komfort jízdy.



Obr. 18 Zadní náprava Porsche Panamera [13]

PORSCHE 911 TURBO

911 Turbo je oproti Panaměře sportovním vozem kde je kladen důraz hlavně na dynamiku a stabilitu jízdy a podle toho i stavěna zadní náprava. Při konstrukci pomocného rámu byl kladen důraz na co nejnižší váhu. Tento stejný požadavek se projevil i na konstrukci ramen, která jsou tak daleko štíhlejší. Díky celkově nižší váze vozu to ovšem nevadí.



Obr. 19 Porsche 911 Turbo[14]



2.1.5 ZADNÍ NÁPRAVA MITSUBISHI LANCER EVOLUTION X

Tento sportovní vůz zrozený ve světě rally, používá čtyřprvkové zavěšení na zadní nápravě. Dvě široce rozkročená spodní příčná ramena, řídící sbíhavost, spolupracují s horním trojúhelníkovým ramenem a spolu určují změnu úhlu odklonu. Čtvrtým členem je vlečené rameno, které společně s trojúhelníkovým ramenem zajišťuje podélné vedení. Toto uspořádání má zajistit precizní vedení kola i při jízdě po nerovném povrchu.



Obr. 20 Podvozek Mitsubishi Lancer Evo X [15]

2.1.6 ZADNÍ NÁPRAVA MINI COOPER S

Mini Cooper S je poměrně malým, ale dynamickým vozem. Proto i u něho bylo použito víceprvkové nápravy vyrobené převážně z plechu. Jedná se o tříprvkové zavěšení, které je řešené podobně jako u Fordu Focus, akorát zde jsou pouze dvě příčná ramena. Dvě příčná ramena, která se starají o příčný úhel odklonu, jsou lehce vlečená. Příčná a podélná síla působící z vozovky pak vyvolávají moment, jenž se snaží otáčet kolem uložení příčných ramen na pomocném rámu. Tento pohyb je však zachycován podélným vlečeným ramenem. Tímto řešením je docíleno dobré tuhosti zavěšení. Pro ušetření jak místa, tak hmotnosti je tlumič opatřen pružící jednotkou.

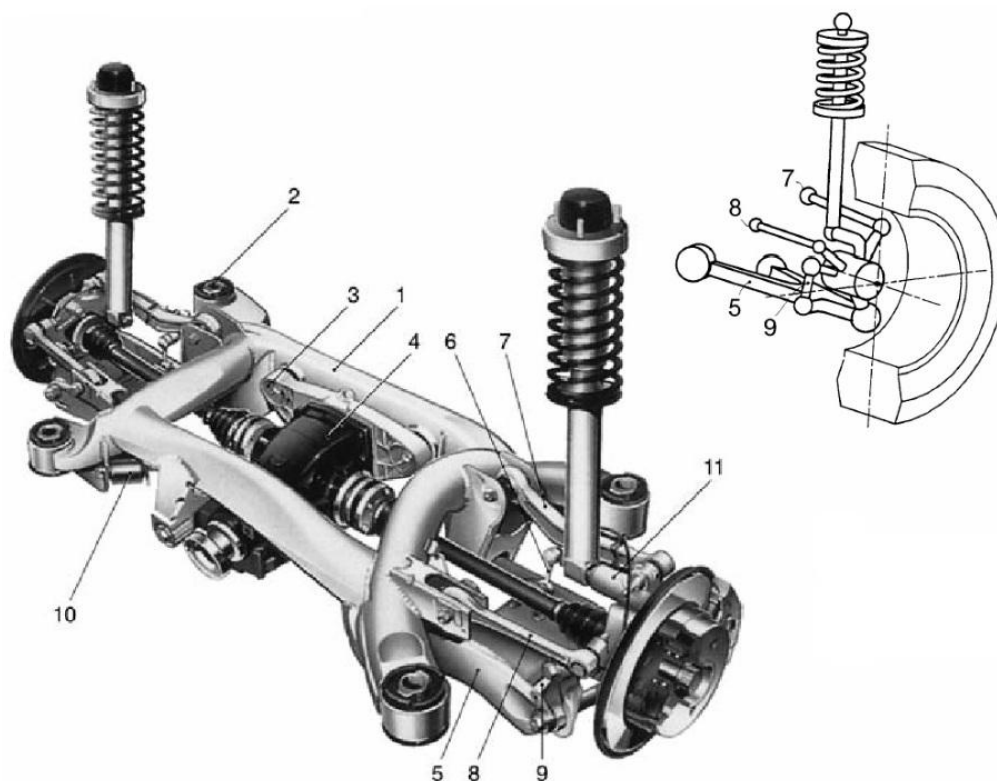


Obr. 21 Zadní náprava Mini Cooper S [16]



2.1.7 ZADNÍ NÁPRAVA BMW 5

Základem zadní nápravy je pomocný rám (1) vyrobený ze svařovaných hliníkových trubek, na němž je umístěn i diferenciál (4). Rám je pak ke karoserii přichycen čtyřmi pryžovými úchyty (2), jenž jsou tuhé v příčném směru a lehce poddajné v podélném směru, což přispívá k jízdovému komfortu. Zavěšení těhlice (11) je pak realizováno masivním U-ramenem (5) na spodní straně a dvěma příčnými rameny (7, 8) nahoře. Pro zachycení hnacích a brzdných momentů slouží takzvané integrální rameno (9), které spojuje těhlici a U-rameno. Toto provedení pak zabraňuje těhlici, aby se natáčela kolem osy. [3]



Obr. 22 Zadní náprava BMW 5 series, model 1996 [3]

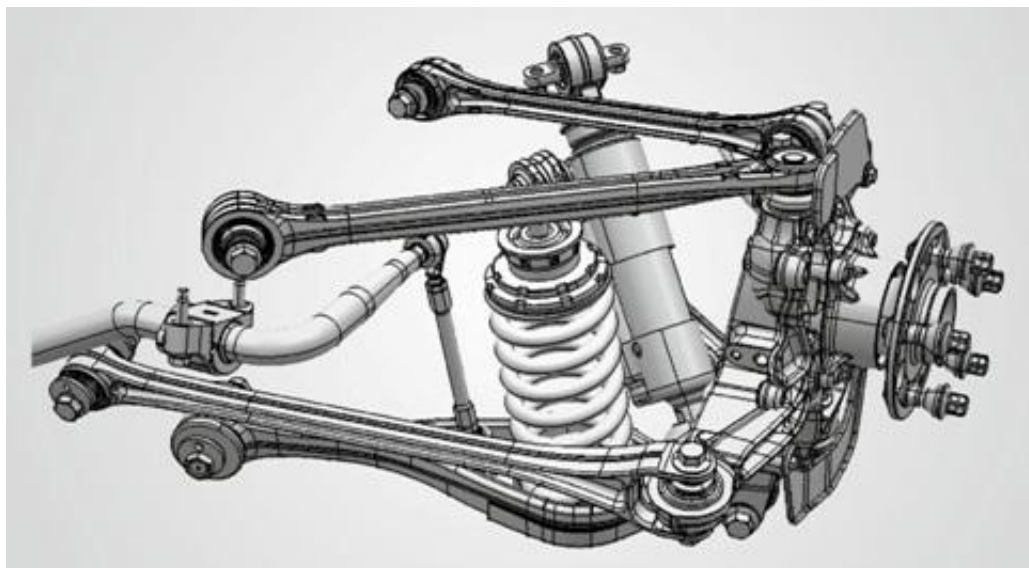
2.1.8 ZADNÍ NÁPRAVA LEXUS LFA

Lexus LFA je supersportem zaměřeným na rychlou jízdu a tomu musí být přizpůsoben také podvozek. LFA nabízí řidiči důležitou zpětnou vazbu z řízení a podvozku, dokonale vyvážené chování v limitních situacích, mimořádnou úroveň přilnavosti a bezpečnou stabilitu ve vysokých rychlostech. [17]

Konstrukteři podvozku snižovali hmotnost všude, kde to bylo možné. Podvozek je proto vybaven kovanými klouby a závěsnými rameny z hliníku a dutými stabilizátory, jež snižují neodpruženou hmotnost. Příčné vzpěry ve spodní části struktury podvozku LFA vznikly na základě zkušeností ze závodů 24 h Nürburgringu a přispívají k mimořádné tuhosti platformy, která je schopna odolávat extrémnímu zatížení. [17]



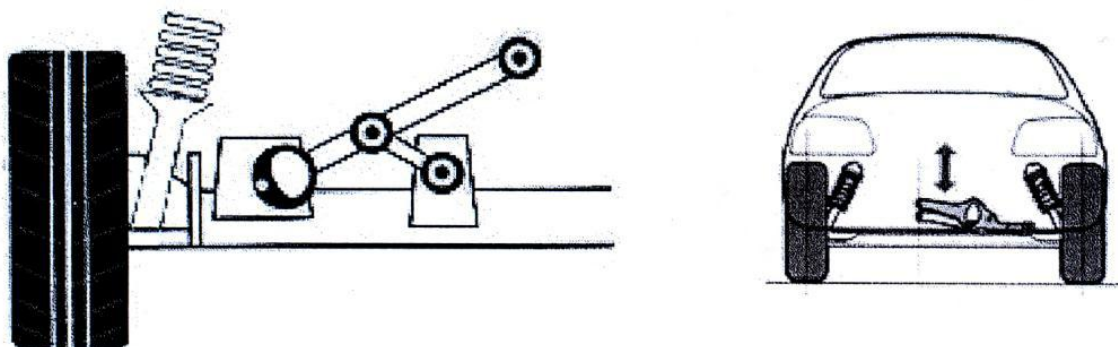
Samotná konstrukce zavěšení se skládá z pěti ramen, tří příčných, jednoho vlečeného a jednoho vodícího. Tlumič je připevněn k těhlici, kde zachytává rázy od vozovky, a pružina je uchycena ke spodnímu příčnému rameni.



Obr. 23 Zavěšení Lexus LFA [18]

2.1.9 NISSAN MULTI-LINK S MECHANISMEM SCOTT-RUSSEL

Toto řešení je modifikací tuhé nápravy. Podobně jako u spřažené klikové nápravy je využito převráceného U nosníku (tuhého na ohyb, ale měkkého na kroucení) ke spojení kol. Nosník je podélně přichycen dvěma vlečenými rameny. Pro příčné ustavení je zde použito Scott-Russelova mechanismu.

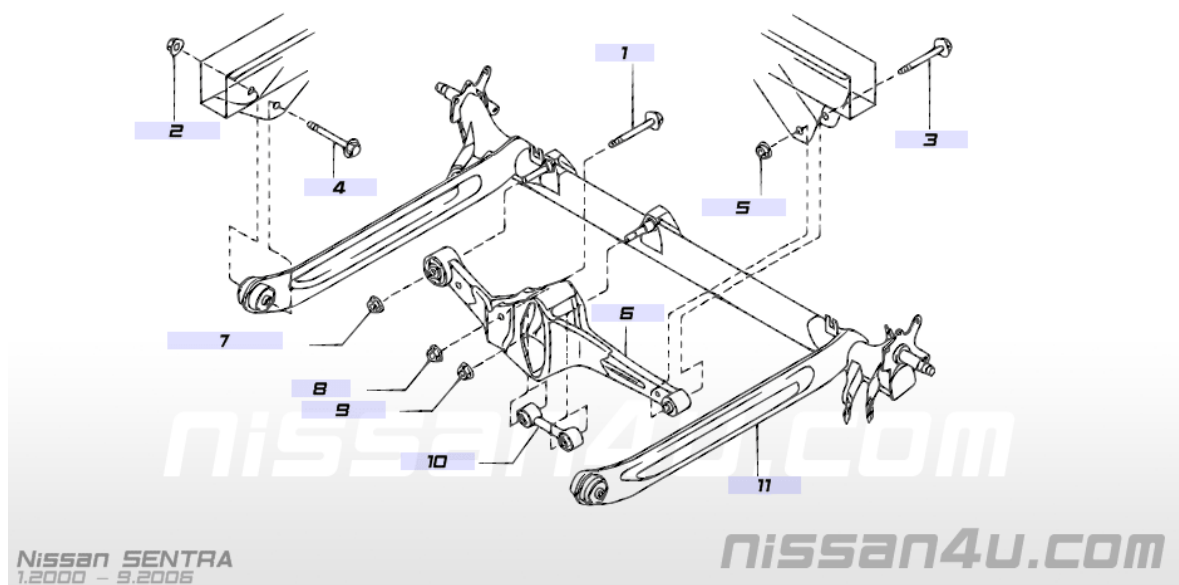


Obr. 24 Schéma nápravy Nissan multi-link s mechanismem Scott-Russel [1]

Mechanismus Scott-Russel zahrnuje příčné rameno a řídicí tyč. Podobně jako Panhardská tyč připojuje příčné rameno torzní nosník ke skeletu karoserie. Zabezpečuje příčné upevnění, což umožňuje, aby vlečená ramena byla co nejstíhlejší. Na rozdíl od Panhardské tyče se příčné rameno neotáčí v pevném bodě na zkrutném nosníku, ale je připevněno přes speciální vertikálně tuhé, avšak stranově poddajné pouzdro. Když se osa torzního nosníku zvedá a klesá vzhledem ke karoserii, pracuje složené spojení jako Panhardská tyč. Jenže jelikož se příčné



rameno na konci torzního nosníku může vůči němu pohybovat, zabraňuje stranovým pohybům celé osy a kola se tak pohybují vůči karoserii pouze vertikálně. Víceprvkový nosník má další výhodu v tom, že je kompaktní a odbourává tření. Tlumiče odpružení nejsou namáhány stranovým zatížením a mohou být proto menší. Na Obr. 25 je znázorněná zadní náprava vozu Nissan Sentra model 2000 s mechanismem Scott-Russel, kde je vidět jeho uspořádání, především pak příčné rameno (6) a řídicí tyč (10). [1]



Obr. 25 Zadní náprava Nissan Sentra, model 2000[25]

2.2 VÝVOJ

2.2.1 HISTORIE



Obr. 26 Zadní náprava Mercedes-Benz 190E [19]

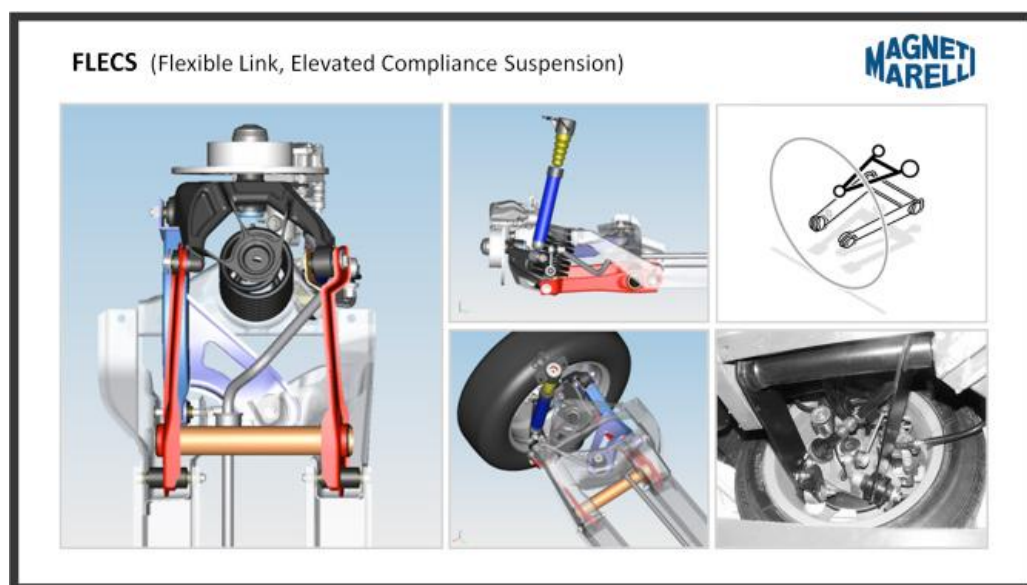


Na konci roku 1982 přišel Mercedes-Benz s modelem 190, předchůdce třídy C. Vyznačoval se zadní víceprvkovou nápravou. Optimálního nezávislého zavěšení bylo dosaženo rozdělením sil a momentů do pěti prostorově umístěných ramen, z nichž každé bylo geometricky určeno přesně na svou funkci. Víceprvkové zadní zavěšení bylo postupně použito u všech vozů typu sedan, kupé, kabriolet a sportovních vozů Mercedes-Benz se zadním náhonem. Následně se víceprvkové nápravy začaly postupně objevovat i u automobilů dalších značek. Mezi jinými třeba Nissan 200SX, Infinity Q45, BMW řady 3 a Nissan Skyline GT-R. [22]

2.2.2 SOUČASNOST

S rozvojem počítačových simulačních programů a jejich používání při konstrukci automobilů začaly víceprvkové nápravy pronikat ze segmentu velkých limuzín a sportovních vozů především do sektoru hatchbacků, například Ford Focus nebo VW Golf. Dále existují nezávislé společnosti, které pracují na levnějších variantách víceprvkových zavěšení a dále je nabízejí automobilkám, které nechtějí vynaložit prostředky na vlastní nákladný vývoj.

Jednou z takových společností je Magneti Marelli, která v rámci inovací přišla s několika systémy zavěšení využívajícími elastických vlastností materiálů. Prvním z těchto řešení je systém FLECS (Flexible Link, Elevated Compliance Suspension), který byl uveden v roce 2004.

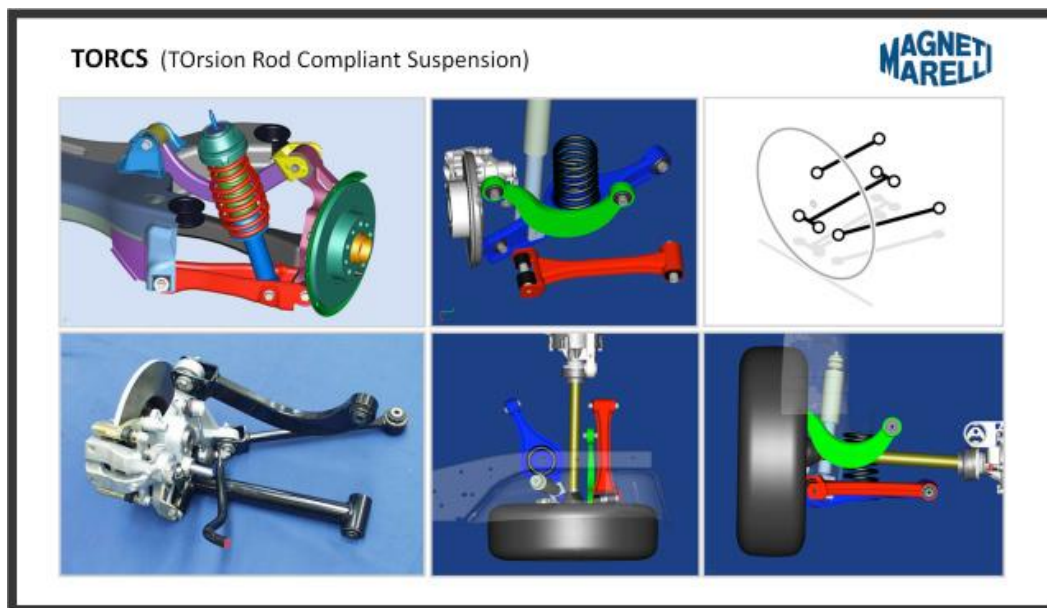


Obr. 27 Magneti Marelli - systém FLECS [20]

Tento systém využívá klasického horního trojúhelníkového ramene a spodního H-ramene. Mimoběžné vyosení pouzder spojení H-ramene a těhlice způsobuje primárně namáhání na ohyb při propružení. Se zvětšujícím se propružením se tak zvyšuje tuhost a dochází tak k menšímu klonění karoserie a k lepšímu vedení kola. Konstrukce H-ramene pak umožňuje také zachycení brzdného momentu.

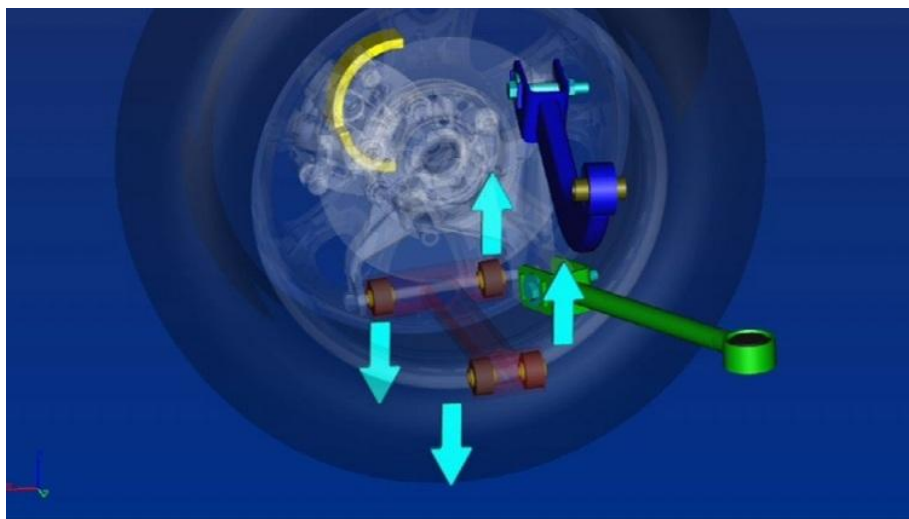
V roce 2005 Magneti Marelli přišlo se systémem TORCS (TOrsion Rod Compliant Suspension). Toto konstrukční řešení využívá tyčového ramene, jehož pouzdra jsou vedeny

mírně různoběžně a při propružení dochází v tomto ramenu k namáhání v krutu, čímž dojde ke zvýšení tuhosti celé konstrukce a sníží se délka propružení.



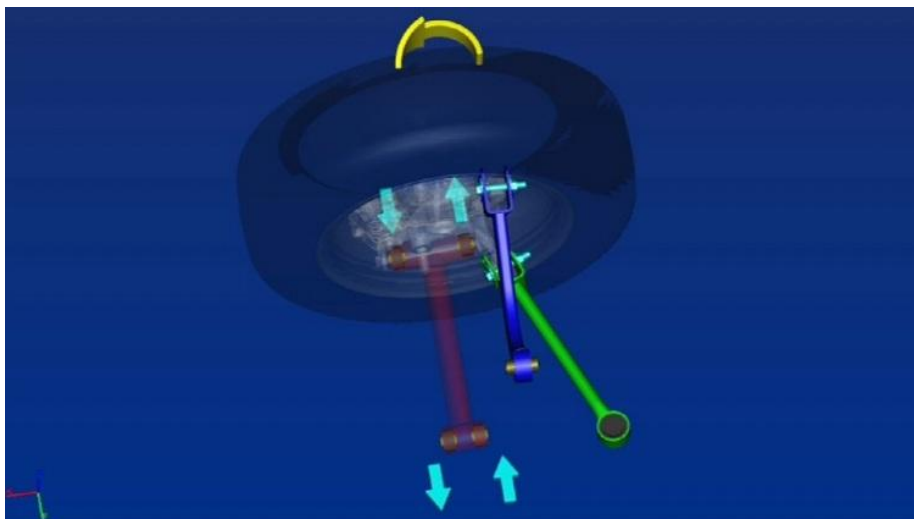
Obr. 28 Magneti Marelli - systém TORCS [20]

Při snižování počtu ramen ovšem vyvstává problém se zachycováním sil a momentů vznikajících od tření pneumatiky s vozovkou a brzdění a akcelerační. Na obr. 29 je vidět reakční moment a síly v krutu namáhaném rameni, které má hlavní podíl na vedení kola.



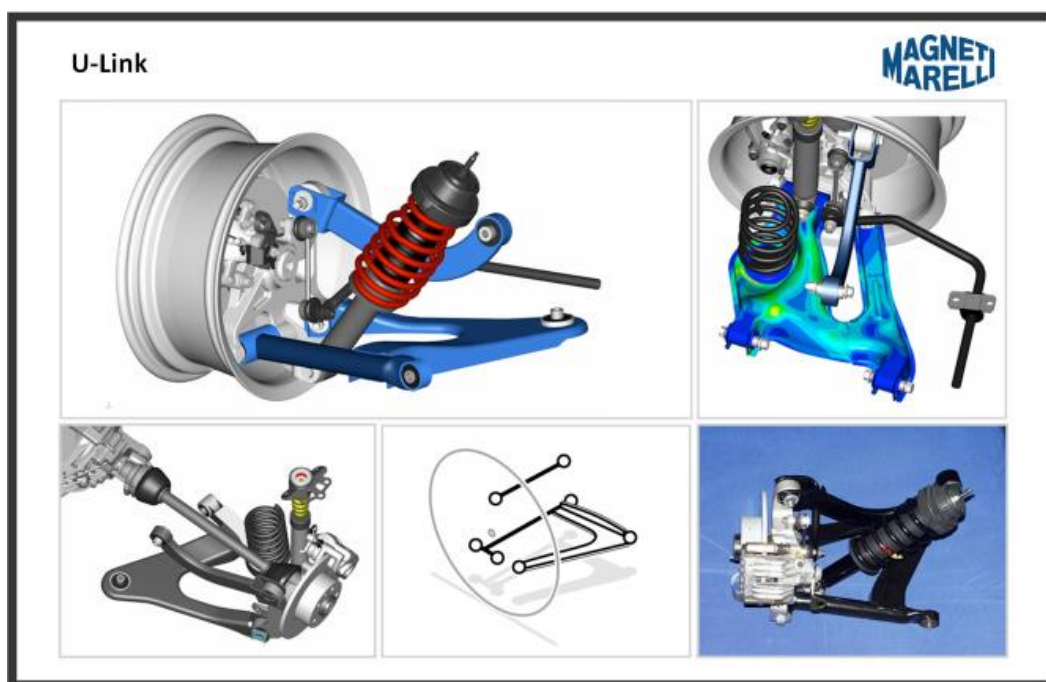
Obr. 29 Systém TORCS - zachycení brzdného momentu [21]

Na obr. 30 je pak znázorněn moment vznikající třením pneumatiky o vozovku a síly, které působí na zkrutné rameno. V tomto případě je rameno namáhané na ohyb.



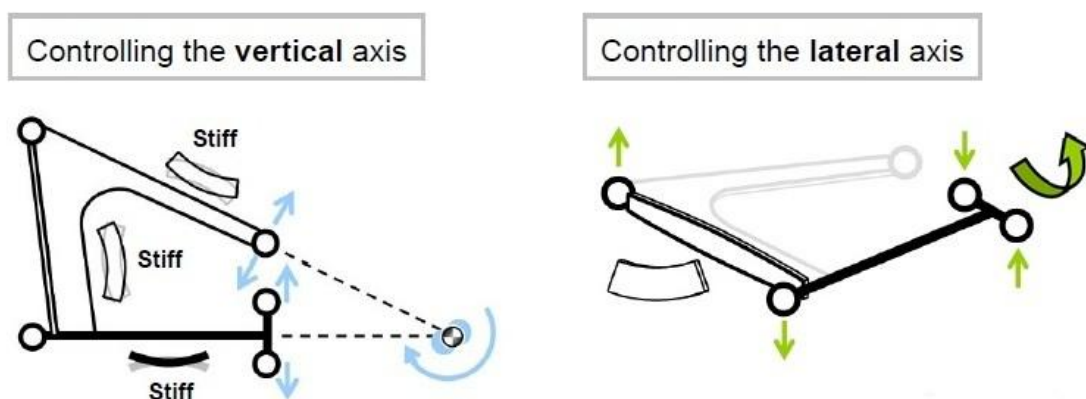
Obr. 30 Systém TORCS - zachycení podélné síly [21]

Třetí systém této společnosti se jmenuje U-link. Jedná se o dvouprvkové zavěšení, které nese název dle spodního U ramene.



Obr. 31 Magneti Marelli – systém U-Link [20]

Spodní U rameno by se dalo rozdělit na dvě části. Na obr. 32 je vidět, že U rameno jako celek zabráňuje změně sbíhavosti, kterou vyvolává na pneumatice síla od vozovky. Zkrutná část poté zachycuje především brzdný moment.



Obr. 32 Tuhost U-ramene [22]

Tyto tři konstrukce zadního zavěšení jsou určeny pro menší automobily s náhonem především předních kol, případně i zadních, ale jen u automobilů s menším výkonem. Jejich účelem je snaha o zlevnění víceprvkových náprav a jejich rozšíření je do segmentu levných automobilů.

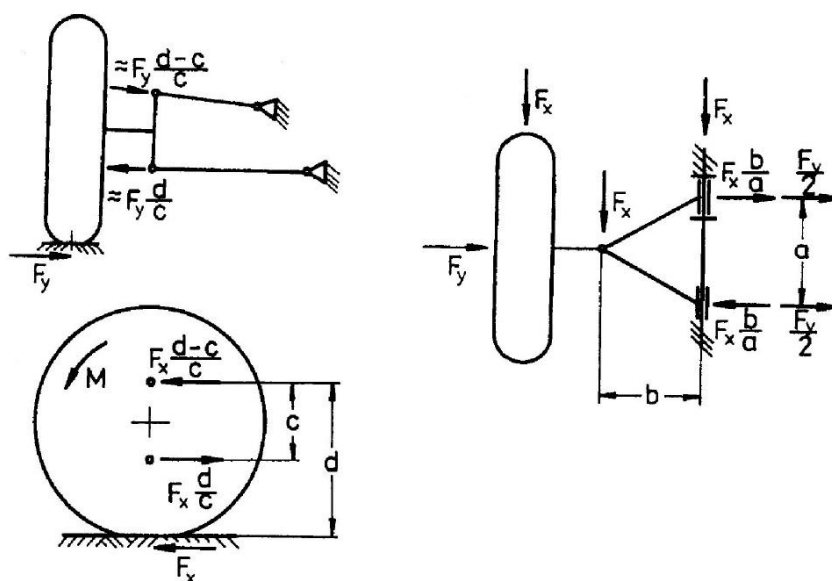
Moderní vývoj by se dal rozdělit na několik skupin. Zaprvé se výrobci snaží o co největší snížení váhy, aby co nejvíce snížili hmotnost neodpružených částí. K tomu přispívá výroba komponentů z hliníkových slitin. Dále je tu snaha o snižování počtu ramen a tím i snížení ceny. Tyto kroky vedou k tomu, že se víceprvkové zavěšení začíná používat i u vozů nižší ceny.



3 DALŠÍ TYPY NEZÁVISLÉHO ZAVĚŠENÍ

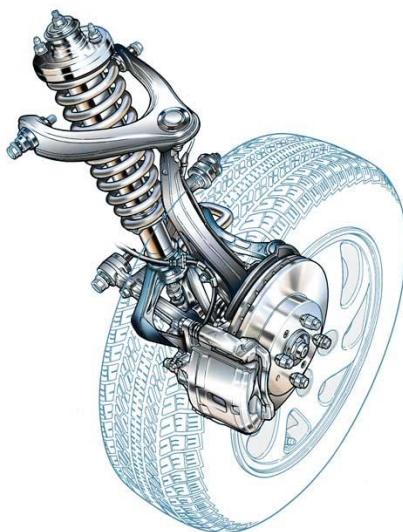
3.1 LICHOBĚŽNÍKOVÁ NÁPRAVA

Jedná se o zavěšení tvořené dvěma trojúhelníkovými rameny, která spolu s kolem s průmětu do příčné svislé roviny tvoří lichoběžník, odtud vznikl název tohoto zavěšení. Ramena jsou uložena příčně nad sebou, přičemž jsou dvěma body uloženy v karoserii automobilu, aby mohla zachytávat síly ve stopě vozidla. [1]



Obr. 33 Zachycení příčných a podélných sil na lichoběžníkové nápravě [1]

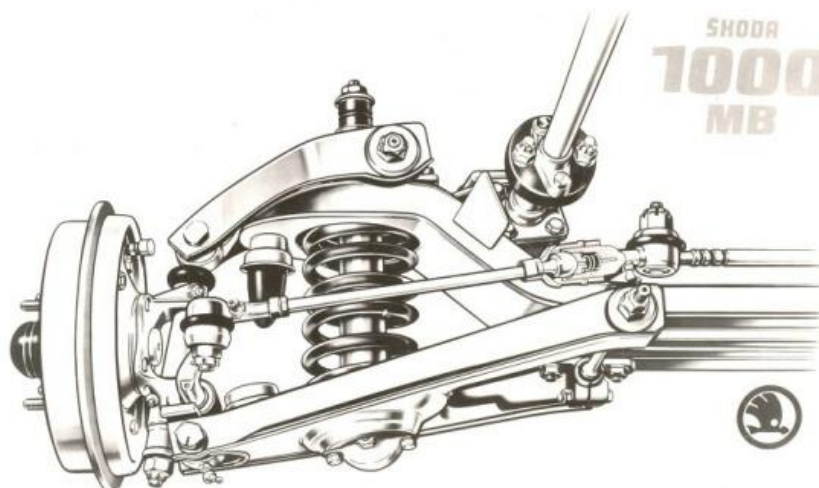
Konstrukce spodního ramene je robustnější, neboť je více zatěžováno, protože je na něm uchycen tlumič s pružinou. U automobilů, které mají agregát umístěný vpředu, bývá horní rameno kratší než horní z důvodu prostorové náročnosti agregátu.[1]



Obr. 34 Lichoběžníková náprava Honda Civic [23]



Mezi výhody patří možnost velmi nízké zástavby oproti nápravě MacPherson nebo tuhé nápravě. Také díky uchycení těhlice pomocí dvou prvků umožňuje snadnou konstrukci řízení, což je asi hlavní důvod, proč se lichoběžníkové nápravy využívá na předních kolech častěji než víceprvkové nápravy, ikdyž nedovoluje tak precizní nastavení kinematiky.[1]

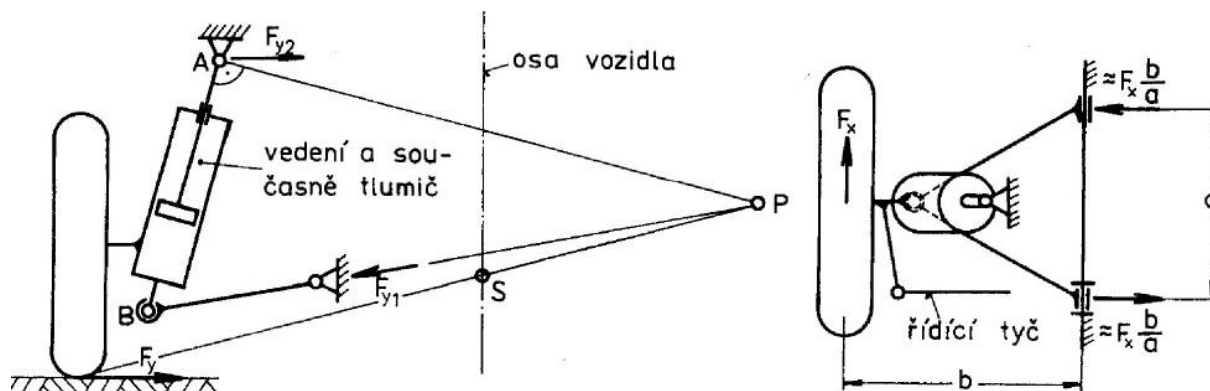


Obr. 35 Lichoběžníková náprava Škoda 1000MB [24]

Aby bylo možné lépe kontrolovat geometrii, je zapotřebí delších ramen. Ale poté roste prostorová náročnost a také váha ramen. Je tedy nutné volit mezi prostorovou náročností zavěšení a kvalitou jeho kinematiky.

3.2 NÁPRAVA MACPHERSON

Konstrukce nápravy MacPherson vychází z lichoběžníkové nápravy, horní rameno je však odstraněno a nahrazeno posuvným vedením. To má oproti lichoběžníkové nápravě výhodu v získání většího prostoru např. pro uložení agregátu či prostornějšího zavazadlového prostoru. Pokud je zavěšení MacPherson použito na přední nápravě, natáčí se kolo kolem obou ložisek teleskopické vzpěry. Úsečka AB pak tvoří rejdovou osu. [1]



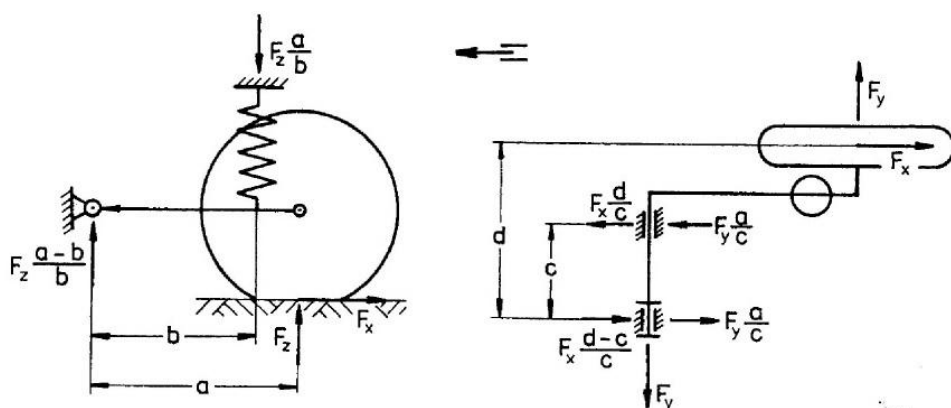
Obr. 36 Zachycení příčných a podélných sil na nápravě MacPherson [1]



Vedení ve vzpěře je konstruováno jako hydraulický tlumič. Kvůli zatížení tlumiče, které vyplývá z toho, že tlumič je nosným prvkem zavěšení, je jeho konstrukce robustnější než u tlumičů používaných u jiných typů zavěšení. Pístnice je kvůli většímu příčnému zatížení silnější a k zamezení nežádoucího tření mezi pístem a válcem a také mezi pístnicí a vedením se obvykle pružina ukládá tak, že její osa svírá s osou teleskopické vzpěry určitý úhel. Obvykle se pak ukládá vodorovně vůči spojnici středu kola a horního uložení vzpěry. Zavěšení MacPherson lze využít i na zadní nápravě, kde příčné rameno může být dostatečně dlouhé (téměř k podélné ose vozidla), čímž se dosáhne menší změny sbíhavosti a odklonu. Zavazadlový prostor díky tomuto zavěšení může být umístěn níže a může být širší. [1]

3.3 KLIKOVÁ NÁPRAVA

Kliková náprava využívá podélného vlečeného ramene s příčným uložením. Uložení většinou bývá realizováno pryžovými ložisky. Tato náprava se využívá jako zadní nepoháněná. Její hlavní výhodou je malá prostorová náročnost a jednoduchost. Díky tomu může být podlaha zavazadlového prostoru poměrně nízká. [1]



Obr. 37 Kinematické schéma klikové nápravy [1]

Pro snížení zatížení ložisek se volí vzdálenost c větší a pro snížení hluku by ložiska měla být co nejmenší. Díky příčné ose kývání nedochází při propružení ke změně odklonu kola vůči karoserii, což ovšem znamená větší odklon vůči vozovce při naklánění karoserie v zatáčkách. Dnes je ovšem více využíváno upravených konstrukcí klikové nápravy, převážně spřažené klikové nápravy, kyvadlové nápravy nebo víceprvkové řešení s vlečeným ramenem (viz. Ford Focus). [1]

3.4 SPŘAŽENÁ KLIKOVÁ NÁPRAVA

Jedná se o modifikaci klikové nápravy, kde jsou kliková ramena propojena. Z kinematického hlediska jde o přechod mezi klikovou nápravou (nezávislé zavěšení) a tuhou nápravou (závislé zavěšení). Spojovacím prvkem je většinou otevřený U-profil orientovaný směrem dolů. Ten je pak tuhý v ohybu, ale poddajný na krut. Ten se při sousledném propružení nedeformuje, ale při protiběžném propružení funguje jako zkrutný stabilizátor. Posunutím spojovacího prvku do středů kol by náprava získala vlastnosti tuhé nápravy. [1]

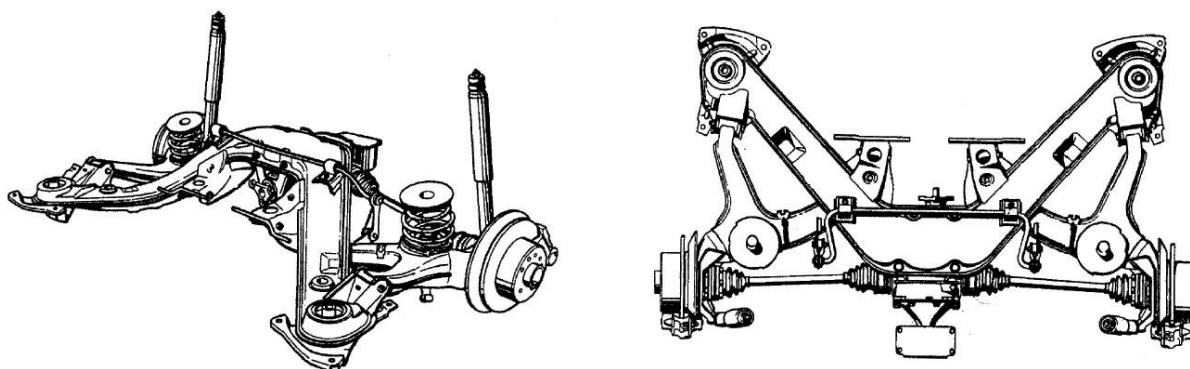


Obr. 38 Spřažená kliková náprava VW Golf IV[3]

Mezi výhody spřažené klikové nápravy patří zejména snadná montáž a demontáž celé nápravy, nízká prostorová náročnost, málo konstrukčních dílů a malá hmotnost neodpružených hmot, malá změna geometrie. Mezi nevýhody patří praktická nemožnost použití jako hnací nápravy, vysoké namáhání svarů a příčného nosníku a z toho vyplívající omezená nosnost nápravy. Také se vyznačuje horší stabilitou při jízdě po nerovném povrchu. [1]

3.5 KYVADLOVÁ NÁPRAVA

Podobně jako kliková náprava využívá kyvadlová náprava vlečeného ramene, ale na rozdíl od klikové nápravy má kyvadlová náprava v půdorysu šikmou osu kývání. Většinou je šikmá osa kývání také v nárysu, čímž při propružení dochází k samořízení, které má na chování vozidla nedotáčivý účinek. Kolo je uchyceno trojúhelníkovým ramenem, které je k nápravnici nebo karoserii tuhými pryžovými ložisky. Kyvadlové nápravy se používají jako zadní nápravy. Může být použita i jako hnací, ale jelikož při propružení dochází ke změně rozchodu, musí být zajištěno vyrovnávání délky hnacích hřídelů. [1]

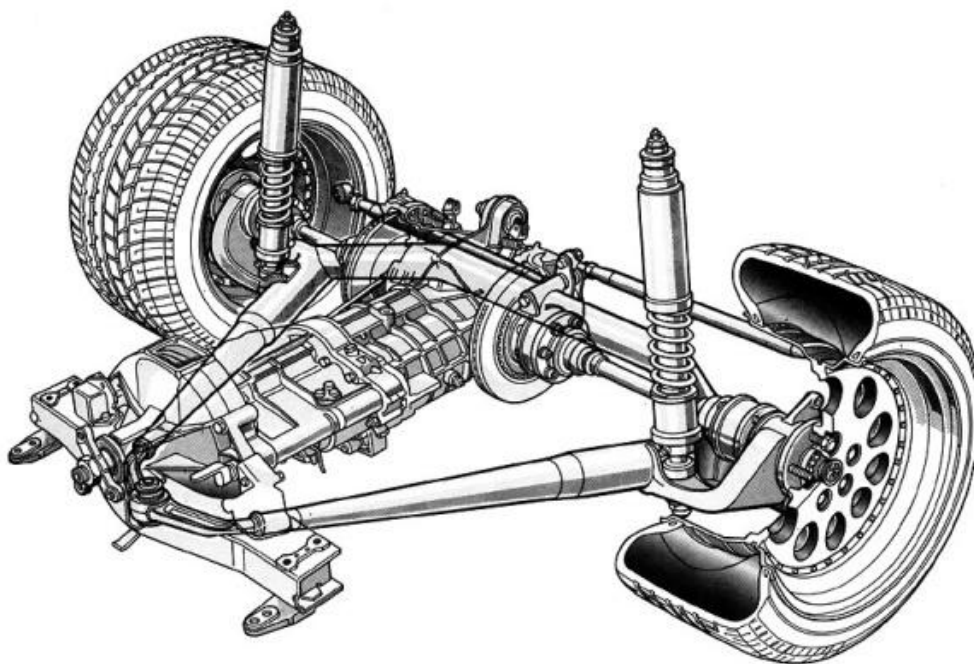


Obr. 39 Kyvadlová náprava Opel Omega model 1998[1]



3.6 NÁPRAVA DE DION

Poháněné tuhé nápravy mají velkou hmotnost neodpružených částí, což způsobuje zhoršení jízdních vlastností při přejíždění nerovností. Toto řeší náprava De Dion, která spojuje přednosti nezávislého zavěšení kol (malá neodpružená hmota) a tuhé nápravy (vzájemně neproměnná poloha kol i stále stejná pozice kol vůči vozovce). Poprvé ji použil hrabě De Dion v roce 1896. Kola jsou spojena tuhým nosníkem, příčně ustaveným v rámu nebo karoserii, na něj přenáší boční síly, např. panhardskou tyčí nebo Wattovým přímovodem. Rozvodovka je spojena nepohyblivě s rámem nebo karoserií a je tedy součástí odpružených hmot. Hnací moment se na kola přenáší tak jako u nezávislého zavěšení kloubovými hřídeli, jejichž hmotnost se jen částečně přičítá k neodpruženým hmotám. Nápravu De Dion používala řada sportovních vozů. [1], [26]



Obr. 40 Náprava De Dion [26]

Na Obr. 40 je náprava De Dion vozu Alfa Romeo 75. Tuhý příčný nosník je podélně ustaven tak, že tvoří se dvěma šikmými rameny celek, zavěšený pružně vpředu v jediném místě na karoserii nebo pomocném rámu. Příčně je ustaven Wattovým přímovodem. Dalšího snížení neodpružených hmot se dosáhlo umístěním kotoučových brzd u rozvodovky. [1]



ZÁVĚR

Návrh nápravy automobilu je vždy kompromisem mezi jízdními vlastnostmi a komfortem jízdy. Nejlepších poměrů mezi těmito hledisky dosahují víceprvkové nápravy. Variabilita jejich konstrukce umožňuje optimální nastavení pro každý automobil. Ovšem konstrukční náročnost, a z ní vycházející i cena, způsobovali, že tato náprava byla pouze u dražších luxusních a sportovních vozů.

Díky technickým inovacím, zvyšování tuhosti a snižování počtu ramen a cenové náročnosti se víceprvkové náprava začala objevovat i u automobilů nižší cenové kategorie. Je však otázkou jak se tento trend bude dále vyvíjet a zdali tato náprava pronikne do všech automobilů nebo bude i nadále u nejmenších a malých rodinných automobilů, určených převážně pro městský provoz, využíváno převážně spřažených klikových náprav, jež jsou levné, jednoduché a nezabírají tolik prostoru. Dnešní vývoj snižování cen nejnížší možnou úroveň a účel těchto vozů tomu však nenasvědčuje.

Ovšem už od vozů střední třídy bývá víceprvkových náprav využíváno především i díky spojování automobilek do koncernů a uzavírání smluv o sdílení technologií, kdy se cena vývoje rozloží a konstrukčních řešení je možno využívat u většího množství automobilů. Tento vývoj je patrný na zadních nápravách. Naopak u předních náprav stále vítězí lichoběžníková náprava nebo náprava MacPherson převážně díky jejich menší prostorové náročnosti a jejich jednoduchá konstrukce obyčejných řízených náprav.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3.přeprac.vyd. Brno: Nakladatelství František Vlk, 2006. 466s. ISBN 80-239-6464-X.
- [2] JAN, Zdeněk; VÉMOLA, Aleš; ŽDÁNSKÝ, Bronislav. *Automobily: I.Podvozek a převodná ústrojí*. 1. vyd. Brno: CERM, 2003, 266 s. ISBN 80-7204-262-9.
- [3] RIMPELL, Jörsen; STOLL, Helmut; BETZLER, Jürgen W. *The Automotive Chassis: Engineering Principles*. 2nd edition Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. 444p. ISBN 0-7506-5054-0.
- [4] SAJDL, Jan. Zavěšení kol. *Autolexicon.net* [online]. ©2011, [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/zaveseni-kol>>.
- [5] SAJDL, Jan. Záklon rejdové osy a závlek. *Autolexicon.net* [online]. ©2011, [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/zaklon-rejdove-osy-a-zavlek>>.
- [6] SAJDL, Jan. Úhel sbíhavosti. *Autolexicon.net* [online]. ©2011, [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/sbihavost-kol-d>>.
- [7] SAJDL, Jan. Víceprvková náprava. *Autolexicon.net* [online]. ©2011, [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/viceprvkova-naprava>>.
- [8] AudiWorld image galleries. *Audiworld.com* [online]. ©1996-2011, [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <<http://gallery.audiworld.com/gallery/awframes/indexb8a4.html>>.
- [9] EDMUNDS, Dan. INSIDELINE. 2009 Audi S5 suspension walkaround. In: *Blogger* [online]. 10. července 2009, [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <<http://blogs.insideline.com/roadtests/2009/07/2009-audi-s5-suspension-walkaround.html>>.
- [10] ETZOLD, H. R. *Jak na to? Údržba a opravy automobilů FORD FOCUS*. České Budějovice: KOPP, 2004. 281s. ISBN 80-7232-139-0.
- [11] LONGHURST, Chris. The suspension bible. *Carbibles.com* [online]. 3. dubna 2012, [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://www.carbibles.com/suspension_bible_pg2.html>.
- [12] DOFORTE, Adrian-Liviu. MERCEDEZ-BENZ-BLOG. The new Mercedes-Benz E-Class Coupé - PART X. In: *Blogger* [online]. 22. dubna 2009, [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <<http://www.mercedes-benz-blog.blogspot.com/2009/04/new-mercedes-benz-e-class-coupe-part-x.html>>.
- [13] Porsche Panamera v detailu. *Porsche.cz* [online]. ©2011, [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <<http://auto.porsche.cz/modely/panamera/panamera/v-detailu?gtabindex=3>>.
- [14] Porsche 911 Turbo v detailu. *Porsche.cz* [online]. ©2011, [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <<http://auto.porsche.cz/modely/911/911-turbo/v-detailu?gtabindex=3>>.



- [15] Mitsubishi Lancer Evolution – Technologie. *Mitsubishi-motors.cz* [online]. ©2008-2010, [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <<http://www.mitsubishi-motors.cz/modely/lancer/lancer-evolution-technologie.xhtml>>.
- [16] First Look: MINI Cooper S. *Europeancarweb.com* [online]. únor 2009, [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://www.europeancarweb.com/firstlook/0208ec_mini_cooper_s/index.html>.
- [17] LFA\\ Zrod supersportu. *Lexus.cz* [online]. ©2012, [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <<http://www.lexus.cz/range/lfa/features.aspx>>.
- [18] HOGAN, Malcolm. lexus-lf-a-suspension. *Automotiveaddicts.com* [online]. 21. října 2009, [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <<http://www.automotiveaddicts.com/7809/toyota-officially-announces-375000-lexus-lf-a-supercar-w-promotional-video/lexus-lf-a-suspension>>.
- [19] Chassis technology: From independent wheel to active suspension. *Daimler.com* [online]. ©2012, [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <<http://www.daimler.com/dccom/0-5-1317350-1-1323799-1-0-0-1317351-0-0-135-7145-0-0-0-0-0-0-0.html>>.
- [20] GERRARD, Barney. Magneti Marelli-Vehicle Suspension Systems Consultant. *Gerrard.dk* [online]. ©2011, [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <<http://gerrard.dk/careermarelli.html>>.
- [21] GERRARD, Barney. A new suspension architecture for small passenger cars. *Vehicledynamics-expo.com* [online]. ©2005, [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.vehicledynamics-expo.com/05vdx_conf/pres/day1/gerrard.pdf>.
- [22] GERRARD, Barney. The U-LINK suspension concept. *Vehicledynamics-expo.com* [online]. 9. května 2006, [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.vehicledynamics-expo.com/06vdx_conf/pres/day_1/gerrard.pdf>.
- [23] DANIELS, Beau; DANIELS, Alan. Suspension systems for various automobile companys. *Automotive-illustration.co.uk* [online]. ©1995-2007, [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <<http://www.automotive-illustration.co.uk/suspensions.html>>.
- [24] SAJDL, Jan. Lichoběžníková náprava. *Autolexicon.net* [online]. ©2011, [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/lichobeznikova-naprava/>>.
- [25] Rear axle & rear suspension — Illustration #2, Nissan SENTRA 2000. *Nissan4u.com* [online]. ©2012, [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <http://nissan4u.com/parts/sentra/us_b15u/2000_3/type_1/axle_suspension_and_steering/rear_axle_and_rear_suspension/illustration_2/>.
- [26] SAJDL, Jan. Náprava De Dion. *Autolexicon.net* [online]. ©2011, [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/naprava-de-dion/>>.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[mm]	vzdálenost uložení ramene lichoběžníkové nápravy a nápravy MacPherson
a	[mm]	vzdálenost osy kývání a čepu kola klikové nápravy
b	[mm]	vzdálenost osy kývání ramene a čepu těhlice lichoběžníkové nápravy
b	[mm]	vzdálenost osy kývání ramene a styku kula s vozovkou nápravy MacPherson
b	[mm]	vzdálenost osy kývání a uložení pružiny klikové nápravy
c	[mm]	vzdálenost čepů těhlice lichoběžníkové nápravy
c	[mm]	vzdálenost uložení ramene klikové nápravy
d	[mm]	vzdálenost styku kola s vozovkou a horní čepu těhlice lichoběžníkové nápravy
d	[mm]	vzdálenost styku kola s vozovkou a vzdálenějšího uložení klikové nápravy
F_x	[N]	podélná síla působící na kolo
F_y	[N]	příčná síla působící na kolo
$F_{y1, y2}$	[N]	reakce příčných sil v uložení zavěšení
F_z	[N]	svislá síla působící na kolo
n_k	[mm]	závlek
P		střed klopení kola
r_o	[mm]	poloměr rejdu
S		střed klopení karoserie
γ	[°]	úhel odklonu kola
δ	[°]	úhel sbíhavosti
σ	[°]	příklon rejdové osy
τ	[°]	záklon rejdové osy